

조선시대 중완구의 제작 기술

Manufacturing Techniques
of Bronze Medium
Mortars(*Jungwangu*, 中碗口) in
Joseon Dynasty

허일권¹, 김해솔^{2*}

국립중앙박물관 보존과학부¹,
국립진주박물관 학예연구실²

Huh Ilkwon¹, Kim Haesol^{2*}

Conservation Science Division,
National Museum of Korea¹,
Curatorial Affairs Office, Jinju National
Museum²

* Corresponding Author :
Kim Haesol

Tel : 82-10-5916-5177
E-mail : rlagothf@korea.kr

요약

완구(碗口)란 유통식 화기로 발사체 장전 부분이 사발(碗) 형태인 화포이다. 발사체로는 비격진천뢰(飛擊震天雷)나 단석(團石) 등을 사용하였다. 『화포식언해(火砲式諺解)』(李曙, 1635)에 의하면, 대·중·소·소소완구 등 총 4종으로 구분되며, 실물은 대완구 1점(보물 제857호), 중완구 2점(보물 제858호, 제859호) 등 총 3점이 전한다. 본 연구에서는 임진왜란기에 제작된 국립진주박물관 소장 중완구(보물 제858호)와 해군사관학교 박물관 소장 중완구(보물 제859호)의 과학적 조사를 토대로 제작 기술을 확인하였다.

첫 번째로 국내 현전하는 중완구가 단 두점인 만큼 정밀 3D 스캐닝 정보를 바탕으로 세부 제원을 서로 비교하고, 동 시기의 문헌 기록 수치와 함께 검토하였다. 전체 크기차는 근소하나 중량에서 5,507g의 차이를 보이고, 세부적으로 심지구멍 위치와 손잡이 길이가 상이하다. 한편 현전 중완구는 『화포식언해』의 중완구 제원과 가장 유사하다. 두 번째로는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 표면 성분 분석결과, 중완구는 Cu-Sn-Pb의 삼원계 합금이며, 평균 함량(wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다. 중완구의 재료 성분은 기존에 조사된 조선 청동 화약 무기의 평균 성분과 매우 유사하며, 중세 유럽의 청동제 화포 재료(Gun-metal)와도 유사한 경향임을 확인하였다. 마지막으로 중완구 표면의 주조 결함(casting defects)과 CT 상을 토대로 주조 기법을 추정하였다. 측면의 주조분할선으로 보아 주형을 반으로 나눈 분할 제작(piece mold)이며, 용탕의 주입은 약실끝 부분으로 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. 특히 포신 기벽에서 주형과 코어를 고정하는 보조 장치인 채플릿(chaplets)이 확인되므로 이는 기벽을 일정하게 형성하는 역할을 했을 것이다. 한편 보물 제858호와 제859호 중완구 두 점은 외형이 매우 유사하지만, 채플릿의 수량과 배치에 상이하여 주형 설계 일부가 달랐을 것으로 예상된다.

주제어 : 완구, 중완구, 화포, 비격진천뢰, 청동 화약 무기, 전통 주조

Abstract

A *jungwangu*, a type of medium-sized mortar, is a firearm with a barrel and a bowl-shaped projectile-loading component. A *bigyeokjincheonro* (bombshell) or a *danseok* (stone ball) could be used as a projectile. According to the *Hwaposik eonhae* (Korean Translation of the Method of Production and Use of Artillery, 1635) by Yi Seo, mortars were classified into four types according to its size: large, medium, small, or extra-small. A total of three mortars from the Joseon period have survived, including one large mortar (Treasure No. 857) and two medium versions (Treasure Nos. 858 and 859).

In this study, the production method for medium mortars was investigated based on scientific analysis of the two extant medium mortars, respectively housed in the Jinju National Museum (Treasure No. 858) and the Korea Naval Academy Museum (Treasure No. 859).

Since only two medium mortars remain in Korea, detailed specifications were compared between them based on precise 3D scanning information of the items, and the measurements were compared with the figures in relevant records from the period. According to the investigation, the two mortars showed only a minute difference in overall size but their weight differed by 5,507 grams. In particular, the location of the wick hole and the length of the handle were distinct. The extant medium mortars are highly similar to the specifications listed in the *Hwaposik eonhae*.

The composition of the medium mortars was analyzed and compared with other bronze gunpowder weapons. The surface composition analysis showed that the medium mortars were made of a ternary alloy of Cu-Sn-Pb with average respective proportions of (wt%) 85.24, 10.16, and 2.98. The material composition of the medium mortars was very similar to the average composition of the small gun from the Joseon period analyzed in previous research. It also showed a similarity with that of bronze gun-metal from medieval Europe.

The casting technique was investigated based on a casting defects on the surface and the CT image. Judging by the mold line on the side, it appears that they were made in a piece-mold wherein the mold was halved and using a vertical design with molten metal poured through the end of the chamber and the muzzle was at the bottom. Chaplets, an auxiliary device that fixed the mold and the core to the barrel wall, were identified, which may have been applied to maintain the uniformity of the barrel wall. While the two medium mortars (Treasure Nos. 858 and 859) are highly similar to each other in appearance, considering the difference in the arrangement of the chaplets between the two items it is likely that a different mold design was used for each item.

Keywords : Mortar, Medium mortar, Artillery, *Bigyeokjincheonro*, Bronze gunpowder weapons, Traditional casting

투고일: 2021.10.01. 심사(수정)일: 2021.10.13. 게재확정일: 2021.10.28..

1. 서론

완구(碗口)란 장전부가 사발 형태인 화포로 비격진천뢰(飛擊震天雷)나 단석(團石, 石丸) 등을 발사하였다. 완구는 별도의 포강(砲腔)이 없어 사거리가 짧고 수평 발사가 어려웠지만, 큰 구경으로 대형 단석 등을 쏘기에 적합했고 주로 적의 목책(木柵)이나 성을 공격할 때 사용되었다^[1]. 병서(兵書)인 『화포식언해(火砲式諺解)』(李曙, 1635)에 의하면, 완구는 대·중·소·소소완구 등 총 4종으로 구분되며, 특히 여러 문헌 기록 상 임진왜란 시기에 매우 유용하게 사용되었다고 볼 수 있다.

그러나 완구는 다양한 기록에 비해 전하는 수량이 현저히 적다. 현전 완구는 대완구 1점(보물 제857호)과 중완구 2점(보물 제858호, 제859호)이 전부이며 희소 가치가 높아 모두 보물로 지정되어 있다. 이 중에서 중완구는 19세기에 제작된 대완구와 달리 1590년 임진왜란기에 제작되었고, 비격진천뢰 발사기로 전쟁사 분야에서 가치 높게 평가받고 있다. 그러나 그간 국내 금속 문화재 연구가 고고·미술품에 집중되어 화약 무기에 대한 연구는 상대적으로 적었다고 할 수 있다.

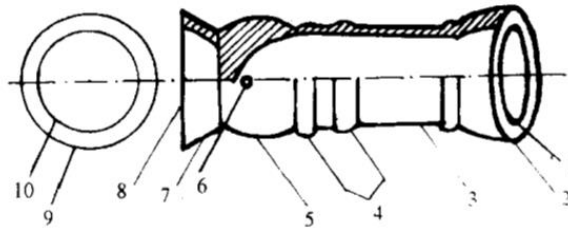
금속 화약 무기에 대한 과학적인 조사는 육안으로 확인할 수 없는 정보를 확보함으로써 형태에 따른 기능적인 목적과 제작 의도 등을 파악할 수 있게 한다. 또한 최첨단 기술의 집약체인 무기의 연구는 당대 과학기술 수준을 가늠해볼 수 있게 해주기 때문에 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 보물 제858호(국립진주박물관 소장)와 제859호(해군사관학교 박물관 소장) 중완구 2점을 대상으로 제작 기술을 확인하였다. 첫 번째는 정밀 3차원(3D) 스캐닝 정보로 세부 제원을 서로 비교하고, 유사 시기의 문헌 기록 수치를 검증하였다. 두 번째는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 마지막은 표면의 주조 결함(casting defects)과, 컴퓨터 단층(Computed tomography, 이하 CT)분석을 토대로 주조 기법을 추정하였다.

1.1. 중완구 기록

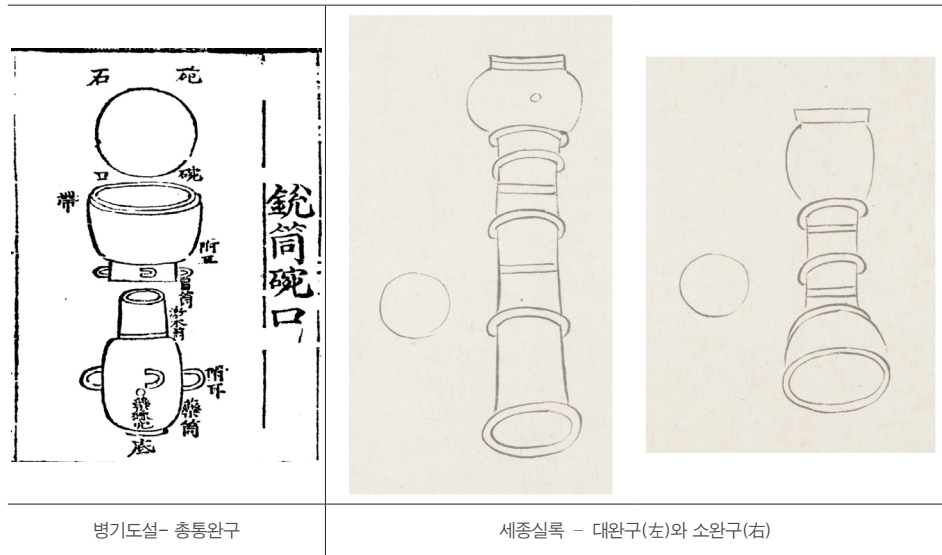
화약 무기는 13세기 중국에서 시작되어, 14세기 무렵 우리나라에 전해졌다^[2]. 홍무(洪武)연간에 만들어진 홍무총(洪武銃)은 병사 개인의 수총(手銃), 중형 완구총, 대형 화총 및 대포 등 3종으로 분류한다. 이 중 완구화총은 총신이 굵고 짧으며, 총구가 그릇과 비슷한 모양이다^{(도1), [3]}. 조선 시대 중완구에 대한 기록은 『신동국여지승람』의 군기시의 화약고기로 태종 14년(1414년) 6월경 최해산이 중국제 완구를 참조하여 대·중·소 완구 3종을 만들었다고 전한다^[4]. 이후 『조선왕조실록』세종 즉위년 기사^[5]에 화통완구의 제작에 관한 기록이 처음 나타나며 세종 19년 기사^[6]에는 대·중·소완구의 이름이 실려 있다. 이러한 조선 초기 완구의 모습은 『국조요

례의』 병기도설에 총통완구의 도해가, 『세종실록오례』에 대완구·소완구의 도해가 남아있어 확인이 가능하다^(도2). 조선 중기 『화포식언해』에는 대·중·소·소소완구의 이름이 나오며, 『용원필비』(朴宗慶, 1813)에 별대·대·중완구의 이름이 등장하여 조선 초기 이후 완구는 크기별 분류를 한 것으로 추정된다. 이러한 완구 계통의 화약 무기는 주로 성을 공격하는 용도로 사용^[7]되었으며 경주성전투^[8], 울산성전투^[9] 등 임진왜란 당시 실사용한 기록이 남아있다. 『화포식언해』는 임진왜란 이후 간행된 병서로 대·중·소·소소완구에 사용되는 심지와 화약의 양, 발사체의 종류와 무게, 사정거리 등이 기록되어 있다^{(표2),(도3)}. 또한 조선후기 간행된 『용원필비』에는 별대·대·중완구의 도해와 각종 제원이 수록되어 있으며, 완구의 재료성분 심지와 격목·발사체의 정보 및 사정거리도 기록되어 있다^{(표2,3),(도4)}. 이밖에 정비록·성호사설·연려실기술 등에도 발사거리의 정보를 전하고 있다.

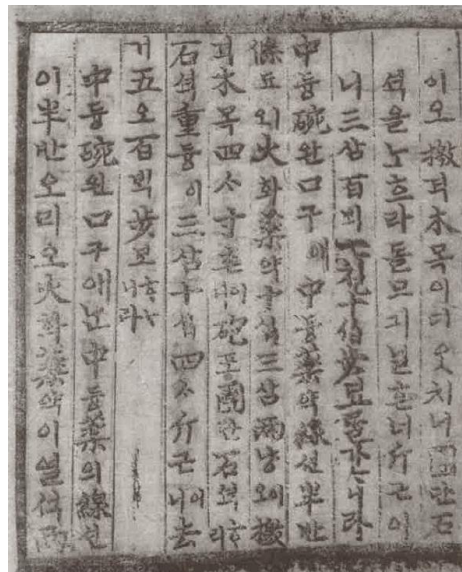


1. 총구내경(口内径) 2. 총구외경(口外径) 3. 전실(前膛) 4. 테두리(箍) 5. 화약실(药室)
6. 심지구멍(火门) 7. 꼬리부(尾餐) 8. 꼬리 구멍(尾腔) 9. 꼬리외경(尾端外径) 10. 꼬리내경(尾端内径)

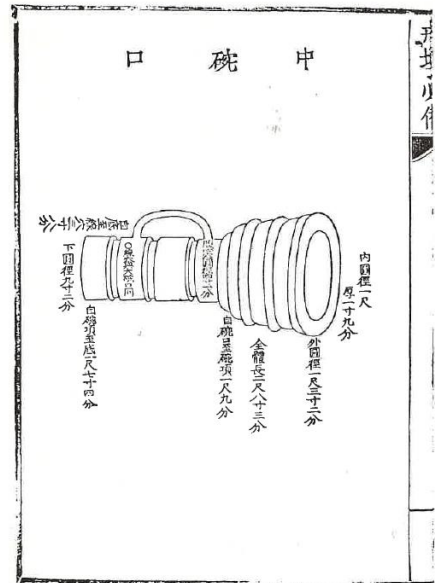
도1. 홍무시기 완구총 구조 개략도^[3]



도2. 병기도설과 세종실록의 완구 도면



도3. 『화포식언해』 중완구 설명



도4. 『용원필비』 중완구 그림

1.2. 중완구 현황

국내에 현전하는 중완구는 단 두 점으로 국립진주박물관 소장 보물 제858호 중완구와 해군사관학교박물관 소장 보물 제859호 중완구이다^(도5).

보물 제858호는 1986년 경상남도 하동군 옥종면 중화리에서 발견되어 국립진주

박물관에 귀속되었으며, 제859호는 1978년 경남 통영군 산양면 미남리 달아 해저(수심25m)에서 발견되어 해군사관학교 박물관에 귀속되었다. 특히 보물 제858호에는 ‘萬曆十八年九月 日營 鑄成震天雷 弓里重八十五斤 尙州浦上匠李勿金(만력18년 9월 일. 영에서 주조하여 만듦. 진천뢰우리 무게 85근. 상주포 장인 이물금)’이라는 명문이 시문 되어 있다. 이로 미루어 보아 중완구는 1590년 9월 남해 상주포(尙州浦)에서 장인 이물금이 주조한 것으로 비진천뢰(飛震天雷)를 발사하고, 무게는 85근임을 알 수 있다^[10]. 한편 보물 제859호에는 명문이 없지만, 제858호와 외형이 비슷하여 동일시기로 추정되었고, 1986년 3월 두 점이 함께 국가지정문화재로 등록되었다.

두 점의 중완구의 형태는 크게 탄환을 넣는 포구(완)와 화약을 넣는 약실 부분으로 나누며 사이에 격목(隔木)을 넣는 부분이 있다. 세부적으로 살펴보면 포구(완) 끝에는 한 줄의 띠가 둘러져 있고 격목부 상부에는 손잡이가 위치하며 약실부는 기벽이 비교적 두껍게 형성되었다.

이 밖에 보물 제858호는 상태가 비교적 안정하여 보존처리가 진행되지 않았지만, 제859호는 해저 출수품으로 1983년 문화재관리국(현 문화재청)이 주관하여 현장 보존처리를 진행한 바 있다. 이어 2020년 재부식을 우려하여 국립진주박물관에서 보존처리를 진행하였고, 이 과정에서 보물 제858호와 함께 제작 기술에 대한 과학적 조사를 병행하였다.

a-1	a-3	a-5
a-2	a-4	a-6

(a-1) 우측
(a-2) 좌측
(a-3) 상
(a-4) 하
(a-5) 포구(완)
(a-6) 약실끝



보물 제858호

b-1	b-3	b-5
b-2	b-4	b-6

(b-1) 우측
(b-2) 좌측
(b-3) 상
(b-4) 하
(b-5) 포구(완)
(b-6) 약실끝



보물 제859호

도5. 중완구 3D 스캔 맵핑 이미지



도6. 중완구의 세부 명칭

2. 연구 대상 및 방법

보물 제858호와 제859호 두 중완구의 비교분석을 위해 3차원 스캐닝(3D Scan)으로 제원을 측정하였고 고중량 정밀 저울로 중량을 확인하였다. 또한 보물 제858호의 재료 성분을 확인하기 위해 에너지분산형 X선형광분석기(ED-XRF)로 표면을 분석하였다^(표1). 전반적인 표면 부식으로 원 소지금속의 성분을 명확히 확인하기는 어려웠지만, 국부적으로 찍힌 흔적 속에서 소지 금속이 드러나 집중 측정이 가능했다. 다음은 중완구 내부 구조와 특징을 입체적으로 확인하기 위해 CT 촬영을 진행하였다. 하지만 CT의 방사선량으로는 중완구의 두꺼운 기벽을 투과하기에 한계가 있었다. 따라서 내부 구조의 확인은 어려웠지만 외부 표면으로부터 약 1cm 이내의 정보는 확보할 수 있었다.

표1. 분석(측정) 기기 및 조건 요약

분석(기관)	기기	조건			
3D 스캐닝 (공주대학교 디지털보존솔루션 연구실)	Artec3D, Spider, Luxembourg	3D 해상도	3D 점 데이터 정확도		스캔 거리
		최대 0.1mm	최대 0.05mm		0.2~0.3m
	Artec3D, Eva, Luxembourg	최대 0.5mm	최대 0.1mm		0.4~1.0m
중량 (국립진주박물관)	AND, GP-100K, Japan	최대중량	최소 중량		재현성
		101kg	1g		1g
ED-XRF (국립중앙박물관)	μXRF Spectrometer ARTAX, Bruker Nano GmbH, Germany	전압	전류	시간	콜리메이터
		50kV	700μA	200초	0.65mm
CT (국립중앙박물관)	Computed Tomography, YXLON, Y.CT Modular, Germany	전압	전류	소요시간	필터
		600kV	1.15mA	45:45	Al:1, Cu:1, Sn:1

3. 결과 및 고찰

3.1 기록과 제원

앞서 언급한 바와 같이 두 점의 중완구가 함께 지정문화재로 등록된 이유는 형태의 유사성에 있지만 정작 중완구의 제작 기술 조사나 비교는 활발히 이루어지지 못했다. 따라서 본 연구에서는 3D 스캐닝 정보를 토대로 세부 제원을 비교하고, 문헌 기록을 토대로 검토하였다.

첫 번째로 두 완구의 제원, 중량을 비교하였다. 중완구의 전체 길이는 보물 제858호가 636.8mm, 제859호가 625.8mm이다. 보물 제858호가 11mm 더 길지만, 포구의 내·외경, 약실부 외경 등에서는 오히려 보물 제859호가 근소하게 큰 수치를 보인다^(표7). 한편 손잡이 고리에서는 비교적 확연한 차이를 보인다. 총신에서 손잡이 고리

가장자리까지의 길이를 비교하면 보물 제589호가 11.4mm 더 길고 두께는 얇다. 하지만 표면의 부식 상태나 결함 유무에 따라 제작 시 제원과는 다소 차이를 보일 수 있다.

약실 상부에 위치한 심지구멍은 두 개이다. 보물 제858호의 두 심지구멍은 상호 간격이 약 16mm 이며 CT 상에서 구멍의 지름은 약 4~5mm이다. 제859호의 경우 표면에서 두 구멍 간격은 약 43mm로 비교적 멀다. 그러나 구멍의 방향이 내부로 들어갈수록 점점 가까워지며 지름은 약 4mm로 제858호와 유사하다^(도8). 중완구의 심지구멍이 두 곳인 이유는 불발을 막기 위함으로, 『화포식언해』에서 그 이유를 설명하고 있다^[11]. 한편 최근 발굴된 고창 무장읍성 비격진천뢰 또한 뚜껑에 두 개의 심지구멍을 두고 있어 중완구와 동일한 경우로 볼 수 있다^[12].

중량은 보물 제858호가 49,875g, 보물 제859호가 55,382g이다. 5,507g의 차이는 보물 제859호의 포신이 근소하게나마 좀 더 굵기 때문으로 예상한다. 하지만 보물 제859호는 해저 출수품으로 부식이 비교적 많이 진행되었다. 일반적으로 금속은 부식이 진행되면서 중량은 감소한다. 따라서 이와 같은 중량 차이는 근소한 제원 차이에 비해 의외의 결과이다. 다만 보물 제859호 중완구의 경우 해저 출수품으로 매장 환경에 따른 복합적인 요인을 검토할 필요가 있다. 추가로 보물 제858호 명문의 중량 기록 85근을 환산하면 54,565g이며 실제 중량은 49,875g이다. 이 같은 중량의 차이는 앞선 실제 중량 비교와는 다른 경우로 제작 시 표준 중량 규격의 오차나 부식에 의한 중량 감소 등의 변수를 고려해야 하므로 유사한 범주로 보아도 무방할 것 같다.

두 번째로는 중완구 명칭 근거를 살펴보았다. 현전 완구 세 점 중 대완구는 명문으로 명칭이 확인되었지만, 중완구의 경우는 그렇지 않다. 다만 대완구보다는 크기가 작아 중완구로 보는 경향이 큰 것 같다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 19세기의 대완구와, 16세기의 중완구는 제작 시기의 차이가 있어 유사한 시기의 문헌과 제원을 바탕으로 검토해 보았다. 가장 근접한 시기에 쓰여진 『화포식언해』(1635년)에는 완구를 대·중·소 완구로 구분하고 발사체별 발사 거리와 중량이 기록되어있지만 정작 완구의 규격 설명은 없다. 다만 현재 전하는 비격진천뢰의 규격이 중비진천뢰에 가깝고, 중완구 포구(완)에 적절한 크기로 보는 견해가 있을 뿐이다^{[12],[13]}. 따라서 중완구의 다른 발사체인 단석을 기준 하여 좀 더 검토해 보았다. 『화포식언해』에는 대·중·소 완구별 단석의 중량 기록이 있어 비중으로 크기를 환산하였다. 단석의 재질을 한반도에 가장 많은 화강암^[14]으로 가정했고, 기록에 따라 둥근 구체의 지름을 산출했다^(표2,4). 표2의 문헌 속 단석 중량을 토대로 표4와 같은 수식으로 단석 지름을 산출하면 소완구는 8.6cm, 중완구는 25cm, 대완구는 32.4cm이다. 본 산출값은

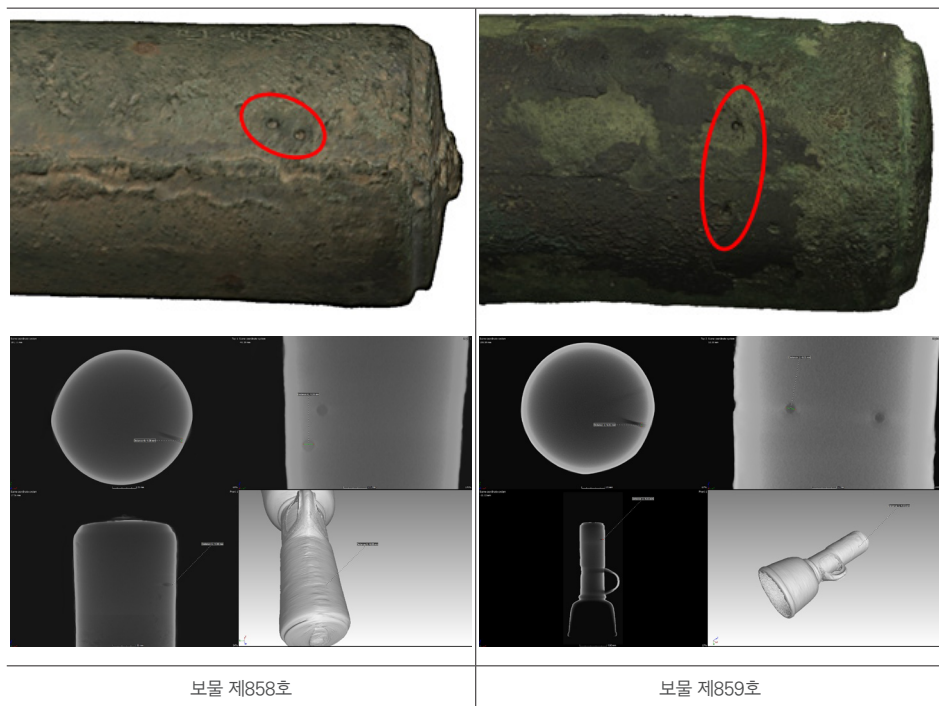
화강암 평균 비중으로 단석을 가정한 지름 이므로, 실제 구성 광물이나 형태에 따라 오차가 있겠지만 실제 포구에 대한 개략적 유사성 비교에는 무리가 없을 것으로 판단한다. 현전 중완구의 포구 내경은 23cm로 중완구 단석 지름보다는 조금 작지만 환산값의 오차를 감안하면 세 종류의 완구 중 가장 적절한 크기로 보인다. 나머지 대완구의 단석 지름은 현전 중완구 포구(완)에서 발사가 불가능하고, 소완구 단석은 현저히 작은 크기라 생각한다^(도9).

마지막으로 현전 중완구 제작 시기와는 차이가 있지만 19세기 초반에 간행한 『용원필비』의 기록과 현전 중완구 및 제원을 살펴보았다. 『용원필비』에는 중완구가 그림으로 비교적 상세히 그려져 있고^(도4), 중량과 제원, 발사체 정보 등이 기록되어 있다^[15]. 도4의 그림에서 확인되는 바 용원필비의 중완구는 포구(완)의 띠 등이 현전 중완구와 다르고, 중량은 185kg, 전체길이는 83cm로 훨씬 크다^(표3). 또한 『화포식언해』와 『용원필비』의 장전 화약량도 520g과 1,400g으로 두 배가 넘는다. 반면 두 문헌의 단석 중량과 발사 거리는 유사하며^(표2), 『용원필비』의 중완구 격목 지름도 106.06mm로^(표2) 현전 중완구의 격목부 입구에 걸맞은 크기이다^(도7). 종합하여 현전 중완구와 『화포식언해』의 중완구가 동일하다고 가정하면, 『용원필비』의 중완구는 전체 중량과 크기가 커졌고, 많은 화약을 사용한다. 그러나 격목부 입구의 구경은 변하지 않았고, 발사 거리도 늘어나지 않았다는 결론을 도출할 수 있다.

이러한 결과는 앞선 기록과 같이 16세기 후반의 중완구가 200여 년이 지나 규격이 달라졌을 수 있고, 또 문헌 기록과 실제 제작 과정에 차이가 있었을 경우도 생각해볼 수 있다. 실제로 문헌 기록과 유물의 제원이 다른 경우는 조선 초기 총통의 격목부의 유무^[16]나 화약 무기의 제원 기록 등에서 종종 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 중완구의 제원 변화가 큼에도 불구하고 발사체 중량 및 발사 거리 등이 유사한 기록은 이례적이다. 따라서 이 같은 기록은 향후 여러 중대형 유통식화포의 발사체와 발사 거리 등과 함께 종합적인 검토가 필요하고, 이는 화포의 변화와 발전 과정을 살펴볼 수 있는 중요한 자료라 생각한다.



도7. 3D 스캔을 통한 중완구 상세제원 비교



도8. 중완구의 심지구멍 위치와 지름 - 3D 매핑 이미지와 CT 분석

표2. 문헌 속 완구의 기록 수치 환산

문헌	발사기	발사 거리		단석중량 (근/kg)	화약량 (냥/g)	격목지름 (지름/mm)	심지 (종류/길이)
		진천뢰 (보/m)	단석 (보/m)				
화포식언해	대완구	-	370/ 444	74/ 47.5	30/ 1200	-	중약선/ 1.5리
	중완구	300/ 360	500/ 600	34/ 21.8	13/ 520	-	중약선/ 4치
	소완구	-	500/ 600	11/ 7	8/320	-	중약선/ 2치5푼
	소소완구	-	-	-	1.8/72	-	중약선/ 1치5푼
용원필비	별대완구	350/ 420	400/ 500	120/77	70/ 2800	6치5푼/ 196.97	중약선 1가닥
	대완구	400/ 480	500/ 600	45/ 28.9	35/ 1400	4치7푼/ 142.42	중약선 1가닥
	중완구	350/ 420	500/ 600	35/ 22.5	35/ 1400	3치5푼/ 106.06	중약선 1가닥
징비록 · 성호사설 · 연려실기술	대완구	500~ 600/ 600~ 720	-	-	-	-	-

※ 기준 1근=641.946g, 1량=40.1218g 1치=3.0303cm^[17]

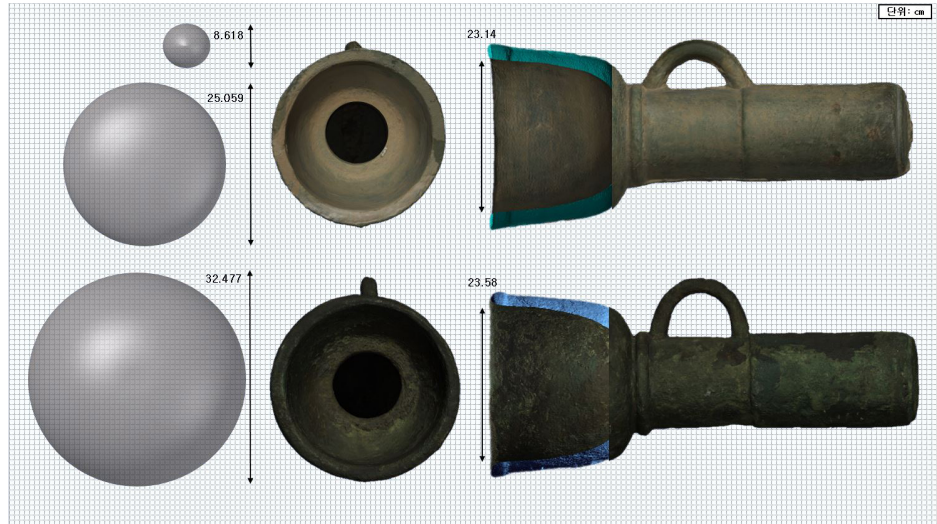
표3. 용원필비 기록과 제원 비교

문헌 및 제원		중량 (근/kg)	전체 길이 (자/mm)	포구 내경/외경 (자/mm)	약실부외경 (자/mm)	손잡이 길이 (mm)
『용원 필비』	별대완구	1100/ 705.1	4자3치/ 1302.9	1자8치/540 2자/600	1자6치/ 484.8	-
	대완구	528/ 338.45	3자1치/ 912	1자3치1푼/393.9 1자5치1푼/454.5	1자1치3푼/ 334.2	-
	중완구	290/ 185.89	2자7치3푼/ 837.9	1자/303 1자1치9푼/336	7치2푼/ 212.7	-
보물 제858호		50	636.8	231.4/271.9	140.8	75.2
보물 제859호		55	625.8	235.8/278.4	141.8	86.6

※ 기준 1근=641.946g, 1량=40.1218g 1치=3.0303cm,^[17]

표4. 『화포식언해』의 완구 단석 지름 산출

- 무게 = 부피 × 비중 • 화강암의 비중 = $2.65g/cm^3$ • 구의 부피 = $\frac{4}{3}\pi r^3$
 - 무게 = $\frac{4}{3}\pi r^3 \times 2.65g/cm^3$ • $r^3 = \frac{3 \times \text{무게}}{33.284} \times \frac{1000g}{1kg}$
 - 조선 전기 1근 = 641,946g, 1량=40,1218g
1. 소완구 단석 중량: 11근 1량 = 7.102kg
 $\therefore r^3 = 640, r = 8.618cm$, 소완구 단석 지름=8.618cm
 2. 중완구 단석 중량: 34근 = 21.826kg
 $\therefore r^3 = 1967, r = 12.530cm$, 중완구 단석 지름=25.059cm
 3. 대완구 단석 중량: 74근=47.504kg
 $\therefore r^3 = 4282, r = 16.239cm$, 대완구 단석 지름=32.477cm



도9. 『화포식언해』의 완구 단석 지름과 중완구 보물 제858호(上)와 제859호(下)의 포구(완) 지름

3.2 중완구의 재료 성분

중완구 재료에 대한 문헌 기록은 『응원필비』에 등장하며 중완구를 비롯한 화약 무기를 숙동으로 제작한다는 내용이 있다^[15]. 또한 명(明)말 송응성(宋應星)이 저술한 『천공개물(天工開物)』에 서양포는 숙동(熟銅)으로 주성(鑄成) 한다는 기록이 있고^[18] 조선말 『훈국신조군기도설(訓局新造軍器圖說)』에도 천·지·현·황자총통, 완구 등 화약 무기는 숙동으로 주조한다고 전한다^[19].

숙동에 대한 정보는 조선시대에 편종(編鐘)을 만들 때 함석(含錫, Zn)과 함께 사용한다는 기록^[20]이 있고, 금보(金寶)를 비롯한 각종 기물 제작에 숙동으로 주조하고

도금한 기록^[21] 등이 남아있다. 또한 『오주서종박물고변(五洲書種博物考辨)』^[22]에 구리를 만드는 법에서 숙동이 기록되어있는데, 역자인 최주는 단조(鍛造, Forging)가 가능한 구리 또는 구리합금일 것으로 추정하였다. 이상을 종합하면 숙동은 숙동 자체로 주조했거나 합금의 주성분으로 쓰였기 때문에 Sn 함량이 매우 높지는 않았을 것으로 추측하며, 또한 단조가 가능한 동합금이었다면 Pb가 없거나 매우 낮은 함량이었을 것으로 예상한다. 그러나 과거에는 동(銅)이라는 단어가 순수한 구리나 구리계 합금을 통칭^[23]했기 때문에 문헌의 내용만으로 Sn 함량을 명확히 유추하기는 어렵다. 다만, 화포나 총통류를 만들기 위한 재료가 별도로 있었다는 사실은 분명하다.

따라서 본 연구에서는 보물 제859호 중완구의 재료가 구리와 주석의 합금일 것으로 예상하고 ED-XRF로 재료 성분을 분석하였다. 표5에 제시한 바와 같이 보물 제859호 중완구의 성분은 Cu, Sn이며, 소량의 Pb가 포함되어 있다. 평균 함량 (wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다.

청동제 화약 무기의 경우 화약의 폭발력을 견디기 위한 재료의 기계적 특성은 필연이었을 것으로 예상한다. 따라서 중완구의 재료 성분을 좀 더 상세히 검토하기 위해 기존 국내 청동제 화약 무기류 성분과 비교하였다. 최근 조선 시대 청동제 소형 총통 68점이 ED-XRF로 분석된 바 있는데, 주성분은 Cu-Sn 합금으로 소량의 납이 포함되었다. 이 중 Sn 함량은 대부분 5~12wt% 범위 내에 위치하는 비교적 뚜렷한 경향을 보였다(이하 그룹 A). 추가로 그간 국내에서 ICP(Inductively Coupled Plasma, 유도결합 플라즈마)로 분석된 청동제 화약 무기 47점을 살펴보면 Sn 평균 값이 5.57wt%로 앞선 결과와 유사하다(이하 그룹 B). 종합하면 현재까지 분석된 국내 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 대부분 10wt% 이내에 분포하며, Cu-Sn-Pb 삼원계 조성표를 통해서도 명확히 드러난다^(도10). 이와 같은 합금비율은 일반적인 청동 문화재와 달리 매우 일관된 결과라 할 수 있다^[16]. 결과를 좀 더 살펴보면 본 연구의 보물 제859호 중완구와 그룹A는 ED-XRF로 표면을 분석하는 방식이다. 이 같은 분석은 부식된 청동 문화재의 경우 Cu는 낮고, Sn과 Pb는 높게 검출되었을 것으로 추정한다. 따라서 실제 청동제 화약 무기의 주성분은 그룹B와 유사하고, 보다 더 일관된 경향성을 보인다고 할 수 있다.

다음은 중완구의 Cu와 Sn 함량에서 나타나는 재료적 특성에 대해 살펴보겠다. 재료적 특징은 온도에 따른 변화를 나타낸 평형상태도(平衡常態度, Equilibrium phase diagram)와 Cu-Sn 합금의 인장강도(引張強度, Tensile strength) 특성, 충격값(Impact value) 및 경도(硬度, Hardness) 등의 그래프를 통해 가늠할 수 있다.

평형 상태도에서 확인되는 바 Sn 함량이 낮아지면 녹는점은 높아진다. 또한 Cu와 Sn 함량에 따른 금속조직 상변화를 살펴보면, 일반적으로 Cu-Sn 합금은 520℃

이상에서 α 와 γ 의 두 가지 상으로 존재하다가 520℃에 이르게 되면 γ 상이 변화되어 $\alpha + \delta$ 의 혼합조직이 출현한다^[23]. 이 때 δ 상의 출현은 청동 재료의 취성을 급격히 증가시킨다. 중완구 등의 청동 화약 무기는 Sn의 함량을 제한적으로 사용하였는데, 이는 결국 δ 상의 출현을 줄이는 효과가 있었을 것이다.

한편 청동의 기계적 성질로 보면 중완구는 Sn이 20wt% 이상 포함된 청동경(銅鏡)^[24]에 비해 청동 화약 무기는 연신율이 높고 경도는 낮다^[23]. 특히 중완구가 가져야 할 필수 특성은 충격값이다. 충격값이란 충격에 대항하는 재료의 저항력으로 인성 또는 취성을 잘 보여주는 데이터이다. 청동의 충격값은 Sn 함량이 약 13wt%를 초과하면 떨어지므로 그 이상의 Sn을 함유하는 경우 충격값이 낮아 청동 화약 무기로 사용하기는 어려웠을 것이다.

다음은 범위를 넓혀 중세 유럽 청동 화포의 성분 분석 사례를 살펴보았다. 유럽의 청동제 화포를 만들기 위한 재료는 ‘건메탈(Gun-metal)’로 분류하며, 일반적으로 Cu 90~81wt%, Sn 9~10wt% 정도의 합금비를 의미한다. 건메탈의 Sn 함량은 높은 파괴 인성이 필요한 무기임을 고려한 선택으로 보고 있다^{[25],[26],[27]}. 이러한 Sn 함량의 경향성은 시사하는 바가 크다. 초기의 청동제 화약 무기 주성분이 특정 지역이나 개발 시기에 따라 분류되는 것이 아니라 화약 무기에 필요한 재료적 기능에 우선한다고 볼 수 있다^[16]. 다시 말해 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 분명한 제작 의도를 명확히 보여주는 것이다.

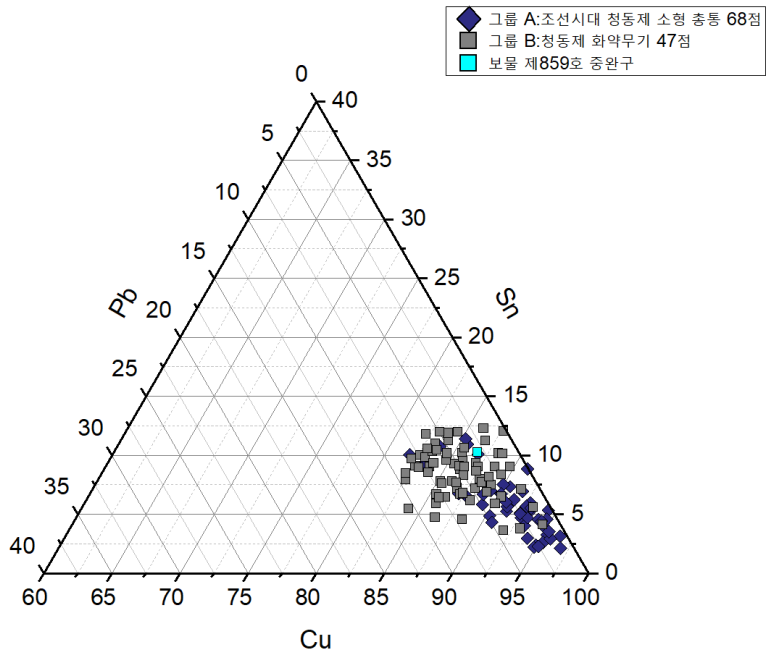
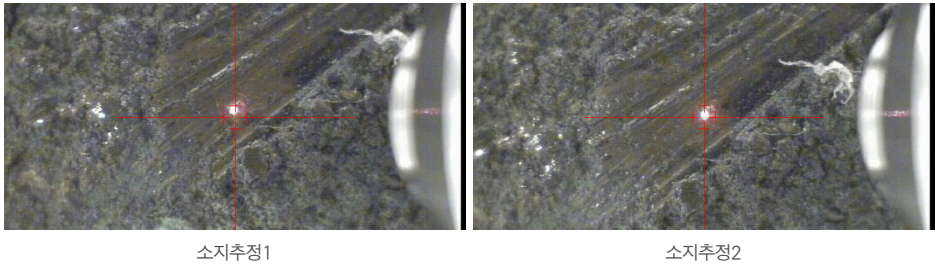
마지막으로 중완구 등의 청동제 화약 무기 합금비율을 선택함에 있어 중국 등 외래의 영향을 받는 부분도 있겠지만, 국내 자체 생산을 위한 개발 단계에 많은 시행착오를 통하여 적절한 재료적 특징을 찾아낸 결과라 생각한다.

표5. 보물 제859호 중완구 ED-XRF 성분 분석 결과 및 위치

분석 결과

연번	분석위치	Cu	Sn	Pb	Mn	Fe	Ni	Zn	As	Sb	합계
1	소지추정1	84.95	10.41	3.06	0.02	0.64	0.34	0.24	0.13	0.21	100.00
2	소지추정2	85.53	9.90	2.91	0.02	0.69	0.34	0.23	0.16	0.21	100.00
평균		85.24	10.16	2.98	0.02	0.67	0.34	0.24	0.15	0.21	100.00

분석 위치



도10. 보물 제859호 중완구, 소형 총통(그룹 A), 국내 화약 무기(그룹 B)의 Cu-Sn-Pb 주성분 분포 (Cu 60wt% 이상 구간)

3.3. 주조 기법

문화재의 주조 기법 조사는 가시적으로 표면의 주조 결함을 확인하고, CT 등으로 내부 구조를 조사하여 종합적으로 판단한다. 본 장에서는 중완구를 CT로 촬영하고, 두 중완구에서 나타나는 공통적 특징을 바탕으로 주형(鑄型) 설계와 탕구(sprue gate) 방향 등에 대해 설명하고자 한다.

중완구의 주조 방법을 유추하는 가장 중요한 단서는 측면의 주조분할선이다. 전통의 주조 방법 중 사형주조(砂型鑄造, sand mold casting)는 주형을 흙(모래)이나 점토 등을 섞어 사용하는 생형주조법(生型鑄造法)이라 하며 문화재 연구 분야에서는 도토형주조법이라고도 불린다^{[28],[29]}. 사형주조는 주로 주형을 상·하형으로 나누고 코어와 조립한 후 빈 공간에 용탕을 채워 응고시키는 방법이다. 중완구 또한 주형을 반으로 나누어 분할 제작(piece mold)하였다. 이때 경계면을 분리면이라 하며, 이것을 측면에서 볼 때 분리선 또는 주조분할선이라 한다. 주조분할선은 조립된 주형 사이에 용탕이 들어가 생기는 결함 현상으로 중완구의 측면에서 선명하게 관찰된다^{[도5(a-3,4)], [도4(b-3,4)]}.

일반적으로 주조품은 용탕이 주형에서 응고되면 주입구 방향의 탕구나 압탕(riser) 흔적이 남는다. 따라서 이러한 흔적을 연마하거나 절단하는 후처리 공정을 거친다. 하지만 전통 주조의 경우 후처리를 하지 않아 표면에 흔적이 종종 남아있는데, 중완구도 약실 끝에서 주입 흔적이 확인된다. 주입구는 표면이 거칠고 중심부가 돌출되어 편평한 포구와는 대조적인 모습이다^[도11]. 따라서 중완구는 약실끝 부분이 주입구이며 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. 수직으로 용탕을 주입하는 방식은 유럽의 16세기 오스만제국의 화포(pedrerros) 주조 기술과도 유사하다. 이 화포는 약실 끝 모서리 부분으로 용탕을 주입했고, 구덩이를 파서 코어를 설치한 후 주형을 내리는 방식으로 알려져 있다^{[26], [도12(a)]}. 중완구는 약실 끝의 중심부로 주입했다는 점이 조금 다르지만, 중형 주물 작업이므로 용탕의 높은 압력을 견디기 위해선 구덩이 파고 주형을 설치했을 가능성이 높다^[도12].

채플릿(chaplets)^[30]은 주조 시 주형에 코어 설치가 불안정하거나 용탕의 부력에 의하여 떠오를 염려가 있을 때 고정하는 역할을 한다^[31]. 중완구는 주조 시 포구와 약실 내부를 만들기 위해 코어가 필요하다. 주형과 코어 사이에 용탕이 주입되면 포신 기벽이 되는데 코어가 중심에 위치해야만 고른 기벽이 형성된다. 고른 기벽으로 일정한 포신을 형성시키는 것이 유통식 화약 무기 제작의 핵심 기술이며, 코어가 중심에 위치하지 못하고 한쪽으로 치우치게 되면 편차가 생겨 화약 폭발 시 취약부위가 된다. 이런 현상을 방지하기 위해 코어 고정 채플릿을 설치하며 용탕을 주입하면 총통의 기벽 속에 채플릿이 위치하게 되고 표면에서는 잘 보이지 않는다^[16].

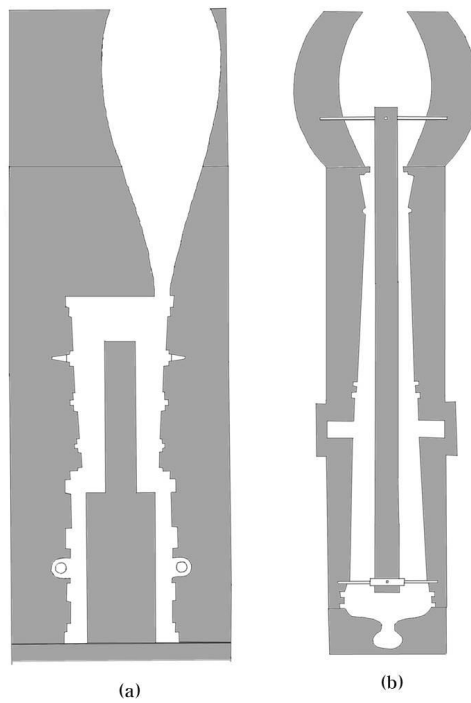
따라서 채플릿의 위치와 형태를 확인하기 위해 CT 촬영을 하였으나, 두꺼운 기벽을 투과하기에는 방사선량의 한계가 있었다. 하지만 중완구 표면으로부터 약 1cm 가량 투과되어 채플릿의 유무와 위치는 확인할 수 있었고^(도13), 외관상 표면에 작은 직사각의 요철이나 홈으로 관찰되며 주변부에 적갈색 부식물이 나타났다^(도14). 추가로 적갈색 부식물은 ED-XRF로 측정한 결과 Fe 함량이 높게 나타나 채플릿 재질은 철로 추정한다.

이상으로 확인한 채플릿의 위치는 보물 제858호의 경우 총 5곳이고, 제859호는 총 2곳이다. 보물 제858호는 CT상에서 선명하게 표현되지 않았지만, 외관상 적갈색 부식물이 확인된다. 포구 방향에서 주조분할선을 기준으로 약실 오른쪽에는 삼각형으로 3곳이고 왼쪽에는 수직으로 2곳이다. 반면 보물 제859호는 CT 조사 결과 포구 방향에서 주조분할선을 기준으로 격목부 오른쪽 측면에만 수직으로 2곳이 확인된다. 철제의 채플릿은 부식으로 밀도가 낮아졌고, CT 상에서 검은색으로 표현된다. 그러나 방사선이 기벽 전체를 투과하지 못해 채플릿의 형태와 깊이까지는 확인하기는 어려웠다. 이상으로 종합하면 두 점의 중완구는 형태가 유사함에도 불구하고 채플릿의 배치와 간격이 달랐다. 보물 제858호는 채플릿이 주조분할선을 기준으로 대칭했지만, 제859호는 한쪽 측면에만 존재했다. 앞서 언급한 바와 같이 채플릿은 유통식 화기의 고른 기벽 유지를 위해 매우 중요한 역할을 담당한다. 최근에는 조선시대 여러 소형 총통 속에서 M자형, I자형의 독특한 채플릿이 새롭게 발견되었고, 주조 기술의 발전 과정 연구로도 연계된 바 있다. 중완구와 같은 중형 주물 공정은 쇳물의 압력과 폭발에 위험이 따를 수 있어 숙련된 고도의 기술이 필요했으리라 예상한다.

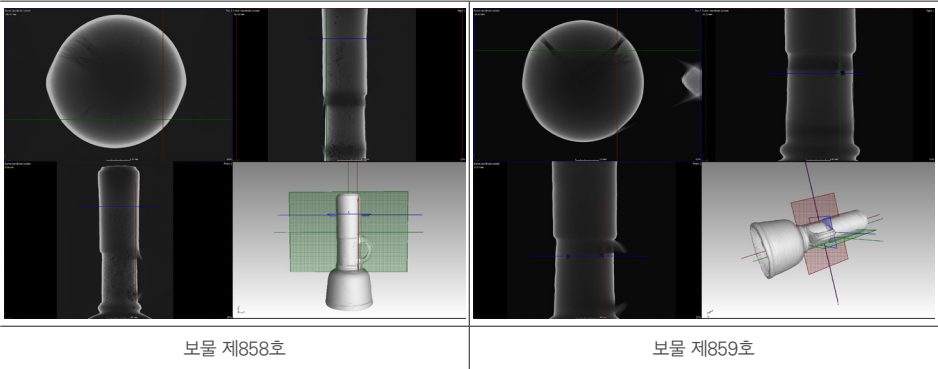
무기는 당대 최고의 기술을 담고 있으며, 금속 주조는 전통 무기 제작에 핵심적인 역할을 담당해왔다. 주형의 설계는 주조 기술의 수준과 발전 과정을 가늠할 수 있는 중요한 연구 소재이다. 본 연구로 두 중완구의 채플릿 수량과 배치가 상이하다는 점은 밝혔으나 코어의 고정 방식까지는 풀지 못한 숙제로 남았다. 이같은 결과는 산업용 CT의 방사선 투과력에 한계에서 비롯되었지만, 향후 여러 중대형 화포의 검토를 통해 채플릿의 형태와 구조가 좀 더 선명하게 밝혀지길 기대한다.



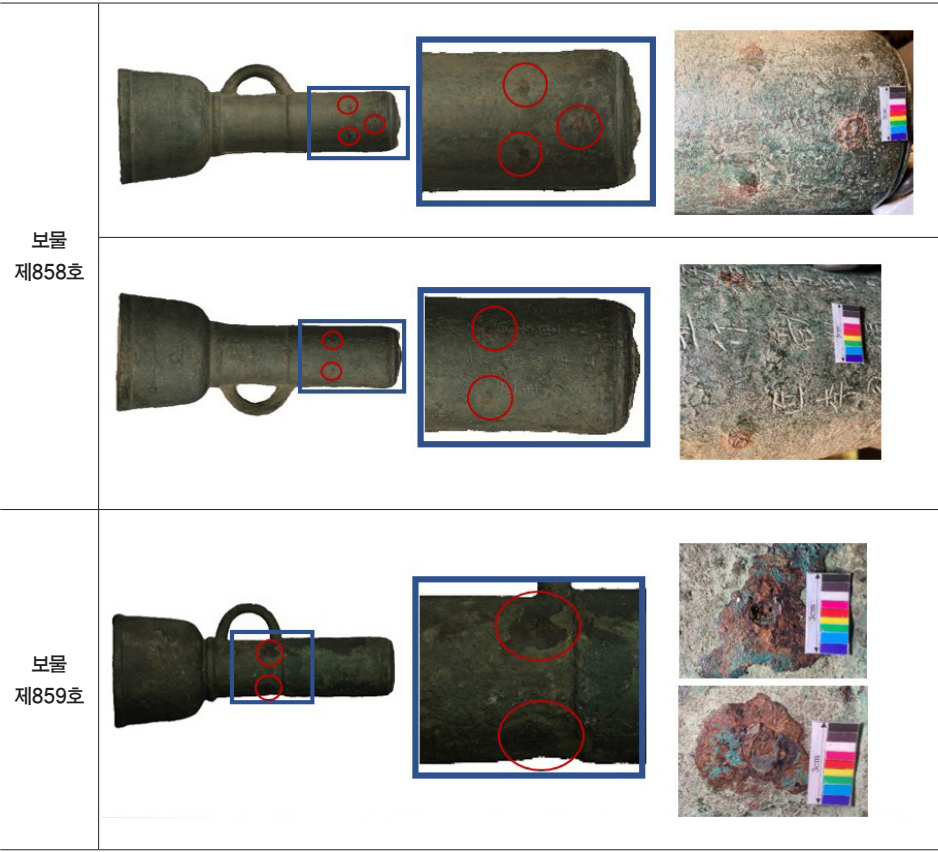
도11. 중완구 약실끝 주입구 추정 위치



도12. 16세기 오스만제국(Ottoman)과 서유럽 청동제 화포(Cannon)의 주조 방법^[23]



도13. 중완구 채플릿 CT 분석



도14. 중완구의 채플릿 위치

4. 결론

본 연구는 국립진주박물관 소장 중완구(보물 제858호)와 해군사관학교 박물관 소장 중완구(보물 제859호)의 과학적 조사를 토대로 제작 기술을 확인하였다.

첫 번째로 국내에 현전하는 중완구는 단 두 점인만큼 정밀 3D 스캐닝 정보를 토대로 세부 제원을 서로 비교하고, 비슷한 시기의 문헌 기록 수치를 토대로 검증하였다. 두 완구의 전체 크기는 근소한 차이였지만 중량에서 5,507g의 차이를 보였고, 세부적으로 심지어 구멍 위치와 손잡이 길이가 상이했다. 또한 현전 중완구 명칭에 대한 근거를 살펴보기 위해 『화포식언해』의 대·중·소완구 단석 중량을 바탕으로 지름 크기를 산출하였다. 그 결과 현전 중완구는 『화포식언해』 기록의 중완구 크기에 가장 적절한 크기로 추정한다. 추가로 19세기 간행한 『용원필비』의 중완구는 현전 중완구 보다 외형이 더 커졌지만, 발사체나 발사거리의 늘어나지 않아 기능적 발전에 대해 추후 검토가 필요하다.

두 번째는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 보물 제859호 중완구의 주성분 평균 함량 (wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다. 중완구의 재료 성분은 기존에 조사된 조선의 소형 총통류(67점)와 청동 화약 무기류(47점)의 평균 성분과도 매우 유사하며, 중세 유럽의 청동제 화포 재료와도 서로 비슷한 경향임을 확인하였다. 이와 같은 결과는 Cu, Sn 합금의 재료적 특성으로 해석된다. 중완구의 합금비는 일반적인 청동 문화재에 비해 Sn 함량이 낮은 편인데 이 경우 연신율은 높고 경도는 낮은 특성을 보인다. 또한 중완구가 가져야 할 필수 특성으로 충격값을 들 수 있다. 충격값이란 충격에 대항하는 재료의 저항력으로 인성 또는 취성을 잘 보여주는 데이터이다. 청동의 충격값은 Sn이 약 13wt%를 초과하면 저항력이 떨어지므로, 화약 무기에는 제한적으로 사용할 수밖에 없었을 것이다. 또한 금속 조직학적으로 Cu-Sn 합금은 520℃ 이상에서 α 와 γ 의 두 가지 상으로 존재하다가 520℃에 이르게 되면 γ 상이 $\alpha + \delta$ 의 혼합조직으로 출현한다. δ 상의 출현은 청동 재료의 취성을 급격히 증가시키기 때문에 낮은 Sn 함량이 이러한 현상을 줄이는데 효과가 있었을 것이다. 이로서 청동제 화약 무기 주성분은 특정 지역이나 시기에 따라 분류되는 것이 아니라 화약 무기에 필요한 재료적 기능에 우선한다고 볼 수 있다. 다시 말해 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 분명한 제작 의도를 보여주는 것이다.

마지막으로 표면의 주조 결함과, CT 분석을 토대로 주조 기법을 추정하였다. 중완구는 측면의 주조분할선으로 보아 주형을 반으로 나누었고, 용탕의 주입은 약실 끝 부분이며 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. CT 조사를 통해 중완구 기벽 안에서 주형과 코어를 고정하는 보조 장치 채플릿이 확인되었다. 기벽이 두꺼

위 채플릿의 전체 형태를 확인하기는 어려웠지만, 수량과 위치는 명확히 확인되었다. 두 점의 중완구는 형태가 매우 유사함에도 불구하고 채플릿의 배치와 간격이 달랐다. 보물 제858호의 채플릿은 주조분할선을 기준으로 약실 측면 양쪽에 대칭했지만, 제859호는 격목부 측면 한쪽에만 존재했다.

채플릿은 중완구에 고른 포신을 형성하는 중요한 역할을 하며, 배치와 간격에 따라 주형 설계 의도를 파악할 수 있다. 본 조사는 아쉽게도 채플릿과 코어의 고정 구조를 명확히 밝히지 못했지만, 이와 같은 주형 설계 과정은 주조 기술의 수준과 발전 과정을 가늠할 수 있는 중요한 연구 소재인 만큼 향후 여러 중대형 화포의 비교 검토를 통해 좀 더 선명하게 밝혀지길 기대한다.

참고문헌

1. 유은선, 임진왜란시기 조선군의 화기연구, 제주대학교 석사학위 논문, p10-13, (2007).
2. 有馬成甫, 火炮の起源とその傳流, 吉川弘文館, p225-232, 東京, (1962).
3. 王兆春, 中國科學技術史: 軍事技術卷, 科學出版社, p138, 北京, (1998).
4. 이서 저, 정호완 역, *화포식언해·신전자취염소방언해*, p54, 세종대왕기념사업회, 서울, (2013).
5. 『세종실록』 권1, 세종 즉위년 8월 14일(신묘).
6. 『세종실록』 권78, 세종 19년 7월 27일(을묘).
7. 『세종실록』 권78, 세종 19년 7월 27일(을묘).
8. 『선조수정실록』 권26, 선조 25년 9월 1일(정사).
9. 『선조실록』 권96, 선조 31년 1월 1일(정해).
10. 국립진주박물관, *동아시아 7년 전쟁, 임진왜란(1592-1598)*, p159, 국립박물관문화재단, 진주, (2019).
11. 이서 저, 정호완 역, *화포식언해·신전자취염소방언해*, p87-88, 세종대왕기념사업회, 서울, (2013).
12. 허일권, 김해솔, 고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법, *고창 무장현 관아와 읍성 비격진천뢰의 발굴과 연구 심포지엄*, p61-62, (2019).
13. 김해솔, 허일권, 고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법과 보존처리, *박물관보존과학* 24, p20, (2020).

14. 전통건축수리기술진흥재단, 석재, <http://www.kofta.org/architecture/Material/traditionstone.jsp>, (2021).
15. 박종경 저, 강신엽 역, *조선의 무기 II: 용원필비*, p41-46, 봉명, (2004).
16. 허일권, 조선 청동제 소형 총통의 제작 기술, 공주대학교 박사학위논문, p78-121, (2021).
17. 이종봉, *한국 도량형사*, p258, 소명출판, 서울, (2016).
18. 송응성 저, 최주 역, *천공개물*, p357, 전통문화사, 서울, (1997).
19. 박종경 저, 강신엽 역, *조선의 무기 I: 훈국신조군기도설·훈국신조기계도설*, p15-25, 봉명, 고양, (2004).
20. 『경모궁악기조성청의궤』 「품목질」, 3월 일(정유).
21. 『가례도감의궤영조정순왕후』 「이방의궤」 「품목질」.
22. 이규경 저, 최주 역, *오주서종박물고변*, p66-76, 학연문화사, 서울, (2008).
23. Scott, D.A., *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, p120-123, Getty Conservation Institute, Los Angeles, California, (1991).
24. 유혜선, 국보 제141호 다뉴세문경의 성분 조성에 관한 연구, *한국기독교박물관 소장 국보 제141호 다뉴세문경 종합조사연구*, p102-119, 송실대학교 한국기독교박물관, 서울, (2009).
25. Forshell, H., *Bronze cannon analysis: alloy composition related to corrosion picture*, Armemusei rapportserie, (1984).
26. Guilmartin, J.F.JR., *Gunpowder & Galleys-Changing Technology and Mediterranean Warfare at Sea in the 16th Century*, *Conway Maritime Press*, (2003).
27. Gnesin, G.G., Revisiting the History of Materials Science Metals and Alloys of the Bronze Age: From Middle to Modern Times. I. Copper and Its Alloys, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* **53**, (2014).
28. 염희택, 이계완, *주조공학*, p200-212, 문운당, 서울, (1986).
29. 윤용현, 청동유물의 주조와 복원기술 연구, 고려대학교 박사학위논문, p11-40, (2013).
30. 허일권 외, 평창 수다사지 청동금고 주조기법과 보수 방식, *박물관보존과학* **15**, (2014).
31. 조수연, 문희권, *주조응고학*(개정2판), p111-112, 구민사, 서울, (2018).